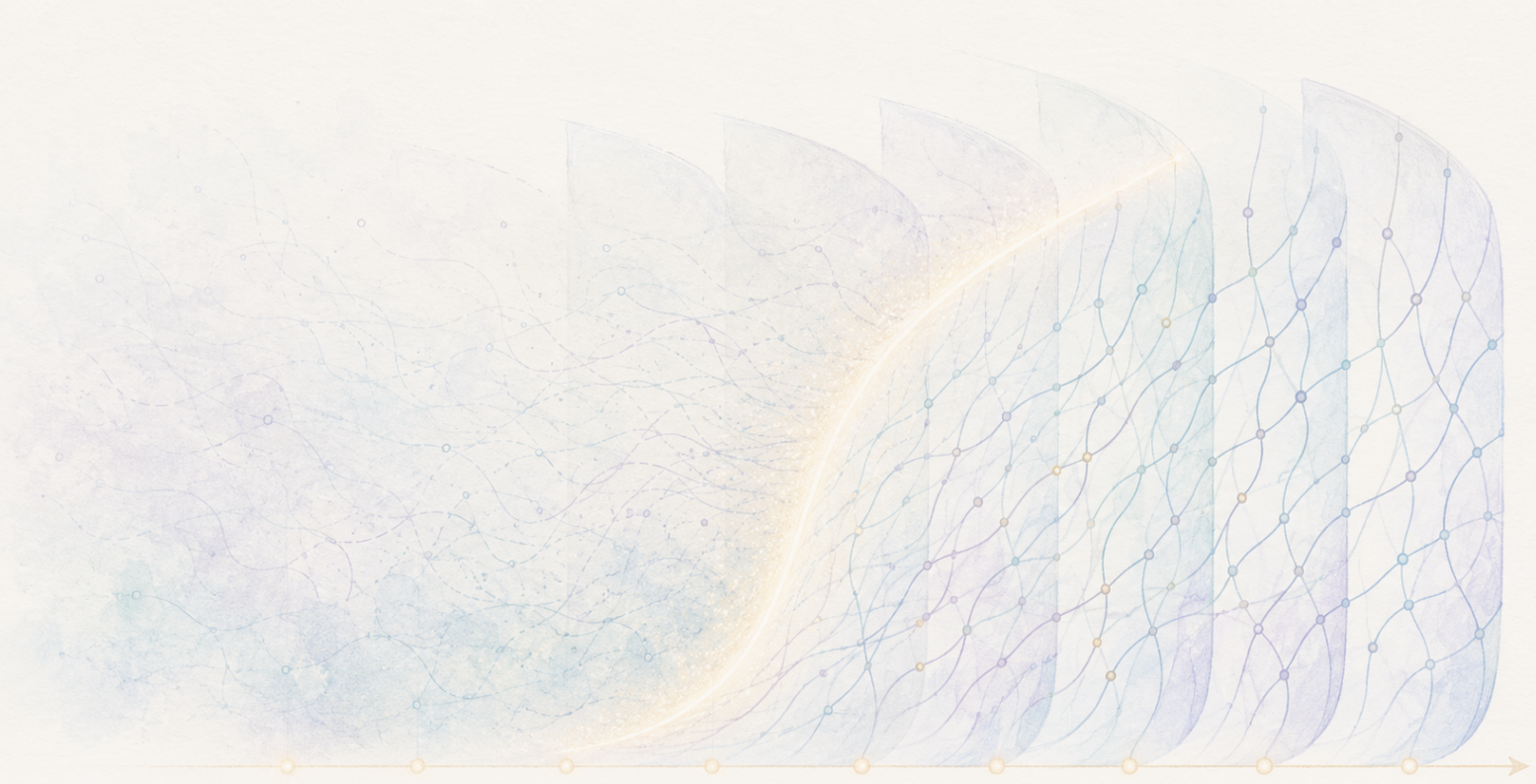




The CLEAN PAPER

WHAT THE PAPER SAYS · WHAT IT DOESN'T · WHY IT MATTERS

Petodimenzionalni klasični model pokušava rekonstruirati kvantno ponašanje bez kvantiziranja gravitacije

Rad u časopisu Scientific Reports predlaže okvir $4D + \tau$ u kojem se uobičajeno prostorvrijeme razvija prema dodatnom parametru. U simulacijama i modelskim izračunima u ravnoteži dobiva Newtonovu gravitaciju, teži osnovnoj strukturi opće relativnosti te reproducira korelacije tipa EPR i interferenciju nalik pokusu s dvostrukim prorezom putem dinamike svjetskih linija. Rezultat je provokativna teorijska konstrukcija, a ne eksperimentalni dokaz da je kvantna gravitacija riješena ili da je standardna kvantna mehanika pogrešna.

Written by Matteo · Cross-checked by Vera Rubin · Edited by Michele Renda · Figures by Nova Vela · AI-assisted, human-reviewed

Paper: A five-dimensional classical framework for gravitational and quantum phenomena, Filip Strubbe, Scientific Reports 16, Article 2965 (2026) · DOI: 10.1038/s41598-025-32860-8

Klasičan put prema kvantnoj gravitaciji smjela je tvrdnja. Ovo je još uvijek model.

Većina pokušaja spajanja kvantne mehanike s gravitacijom počinje pokušajem kvantiziranja gravitacije. Novi rad Filipa Strubbea u časopisu Scientific Reports pokušava krenuti suprotnim smjerom: zadržati klasične temelje, dodati dodatni parametar evolucije i pitati mogu li poznati učinci gravitacije i neki kvantni fenomeni proizaći iz te šire klasične dinamike.

To je smjela zamisao, ali njezin je doseg vrlo lako preuveličati.

Rad ne rješava kvantnu gravitaciju. Ne pokazuje da je kvantna mehanika pogrešna. Ne pobija Bellov teorem niti dokazuje da je svemir potajno jednostavan mehanizam poput sata. Ono što nudi jest predloženi petodimenzionalni klasični okvir koji u modelima može reproducirati odabrana gravitacijska i kvantno-slična ponašanja te daje neka predviđanja koja bi se mogla razlikovati od standardne kvantne teorije.

Korisno pitanje nije „je li klasična fizika pobijedila kvantnu fiziku?” Nije. Korisno je uže pitanje: čega bi se klasična teorija morala odreći, ili što bi morala dodati, kako bi oponašala neke pojave koje standardna četverodimenzionalna klasična fizika ne može oponašati?

U ovom radu dodatni sastojak nije peta prostorna dimenzija. To je dodatni parametar, nazvan tau, prema kojem se razvija uobičajeno četverodimenzionalno prostorvrijeme.

Dodatno vrijeme koje nije obično vrijeme

Okvir počinje uobičajenim četverodimenzionalnim prostorvremenom: jednom vremenskom koordinatom i trima prostornim koordinatama. Zatim dodaje vanjski parametar evolucije, tau. Koordinatno vrijeme označava događaje unutar prostorvremena. Tau određuje kako se cijela konfiguracija prostorvremena relaksira prema ravnoteži.

Ta je razlika okosnica prijedloga. Rad postav naziva okvirom $4D + \tau$. Formalno je petodimenzionalan, ali autor pažljivo pojašnjava što to znači: nema petodimenzionalne metrike koja zamjenjuje uobičajenu četverodimenzionalnu metriku prostorvremena. Umjesto toga tau je parametar koji pokreće dinamiku četverodimenzionalne geometrije i svjetskih linija čestica unutar nje.

Slika je namjerno neobična. Osnovni objekti nisu valne funkcije. To su svjetske linije: putanje kroz prostorvrijeme koje se mogu mijenjati kako se mijenja tau. Rad zamišlja da prostorvrijeme postupno „kristalizira” duž vremenske dimenzije. Iza fronte kristalizacije konfiguracije su se relaksirale u stabilne ishode; ispred nje budućnost još nije organizirana na isti način.

Promatraču unutar sustava dostupni su samo ishodi koji su dosegli ravnotežu. Promatrač ne vidi tau izravno. Uobičajenu četverodimenzionalnu povijest rekonstruira iz slijeda ishoda koji su kristalizirali.

Tako rad pokušava dobiti dvije stvari odjednom: određenu, klasičnu temeljnu dinamiku te, iz perspek-

tive unutar sustava, pojavu uobičajenog vremena, ishoda mjerenja i ponašanja nalik kvantnome.

Najprije gravitacija: Newton, zatim dijelovi Einsteina

Gravitacijski dio rada počinje u granici slabe gravitacije. Autor zapisuje jednadžbu relaksacije za gravitacijski potencijal. Kada sustav dosegne ravnotežu s obzirom na τ , ta se jednadžba svodi na uobičajenu Newtonovu Poissonovu jednadžbu gravitacije.

Rad i svjetskim linijama daje vlastito pravilo relaksacije. U ravnoteži se svjetske linije usmjeravaju prema putanjama koje očekujemo iz Newtonove gravitacije. Numerički primjeri namjerno su jednostavni: primjerice, statična masa i sustav dviju masa koji se relaksira prema Newtonovu prostorvremenu.

Autor zatim istu ideju proširuje prema općoj relativnosti. Umjesto relaksacije samo Newtonova potencijala, okvir relaksira samu metriku prostorvremena. U ravnoteži svjetske linije postaju **geodezije**: putanje kojima se gibaju tijela u slobodnom padu kada na njih osim gravitacije ne djeluje druga sila, odnosno pandani pravaca u zakrivljenom prostorvremenu. Geometrija bi trebala reproducirati osnovna obilježja opće relativnosti.

Ograda je važna. Rad nije potpuna izvedba svih predviđanja opće relativnosti u režimu jakih polja. Izričito ostavlja jaka polja, singularnosti, gravitacijski crveni pomak, gravitacijske valove i bogatije ponašanje svjetskih linija za budući rad. Tvrdnja je da okvir u slaboj granici može reproducirati Newtonovu gravitaciju i osnovnu strukturu opće relativnosti u blažem režimu, a ne da je zamijenio cijeli eksperimentalno provjereni aparat Einsteinove gravitacije.

Potez kod Bellova testa: promijeni pretpostavku o prostorvremenu

Najteži dio svakog klasičnog objašnjenja kvantne mehanike jest nelokalnost.

Bellov teorem kaže da, uz standardne pretpostavke, nijedan lokalni model skrivenih varijabli ne može reproducirati sve kvantne korelacije. Pokusi su više puta prekršili Bellove nejednakosti. Zato uobičajene četverodimenzionalne klasične slike ne uspijevaju.

Bellove nejednakosti jednostavnim riječima

Zamislite da dvije čestice napuste isti izvor noseći skrivene listove s uputama. Daleko jedna od druge, Alice i Bob neovisno biraju kako će mjeriti svoje čestice. Ako je svaki rezultat unaprijed određen lokalnim listom s uputama, nijedna strana ne može biti pogođena izborom druge strane, a postavke mjerenja statistički su neovisne o tim uputama, Bellove nejednakosti postavljaju gornju granicu jačini korelacije između dvaju skupova rezultata. Stvarni pokusi

prelaze tu granicu. Zaključak nije da automatski pobjeđuje neka određena alternativa, nego da realizam, lokalnost i statistička neovisnost ne mogu svi zajedno ostati netaknuti. Za izvođenje lokalne granice, kvantnog predviđanja i eksperimentalnih testova korak po korak pogledajte naš vodič kroz Bellov teorem.

Odgovor rada nije poricanje Bellova teorema. Mijenja se okruženje u kojem se teorem primjenjuje. U okviru $4D + \tau$ utjecaji se mogu širiti duž svjetskih linija dok se konfiguracija razvija prema τ . Iz perspektive uobičajenog prostorvremena to može izgledati kao nelokalna korelacija. Iz perspektive predložene temeljne dinamike interakcija je lokalna duž relevantnih svjetskih linija u τ .

Rad modelira pokus tipa EPR s dvama fotonima koje mjere Alice i Bob. Model reproducira standardne kvantne korelacije za maksimalno spregnuto polarizacijsko stanje. Formalna cijena izričito je navedena: model se potpuno odriče statističke neovisnosti, pri čemu Aliceino mjerenje preko τ -dinamike unaprijed uvjetuje Bobovo stanje. Mehanizam nije standardni kvantni kolaps; riječ je o relaksaciji polarizacijskih stanja duž povezanih svjetskih linija, koju pokreće τ .

Što Alice i Bob zapravo uspoređuju

Izvor šalje jedan foton Alice, a njegov par Bobu. Svaki koristi polarizirajući razdjelnik snopa postavljen pod odabranim kutom i bilježi jedan od dva ishoda: prolazak ili skretanje. Jedan par ne može otkriti korelaciju. Test nastaje ponavljanjem pokusa i uspoređivanjem koliko se često dva ishoda podudaraju dok se mijenja kut između razdjelnika. Kvantna teorija predviđa korelacije jače nego što dopuštaju lokalne, statistički neovisne skrivene upute. U Strubbeovu modelu Aliceino se mjerenje u τ događa prvo; relaksacija polarizacije zatim se širi duž povezanih svjetskih linija, natrag kroz zajednički izvor i dalje Bobovom putanjom, pa je Bobovo stanje već uvjetovano kada ga on mjeri. Time model reproducira korelaciju, ali samo promjenom kauzalnog okruženja i odricanjem od statističke neovisnosti.

Ovo je dio koji zahtijeva najčvršću ogradu. Reproducirati jedan model tipa EPR unutar predloženog okvira nije isto što i izvesti cijelu kvantnu teoriju iz klasične mehanike. Sam rad navodi da bi se odstupanja od standardnih kvantnih predviđanja mogla pojaviti ako bi prijenos informacija duž svjetskih linija bio prespor ili ako bi prostorne udaljenosti postale dovoljno velike da jedno mjerenje završi prije nego što relevantna informacija o ishodu stigne propagirati u τ .

Tu počinje prostor za provjerljiva predviđanja, a ne za proglašavanje pobjede.

Dvostruki prorez, rekonstruiran kao gibajuće svjetske linije

Drugi kvantni primjer jest interferencija na dvostrukom prorezu.

Rad masivnu česticu, konkretno neutron, modelira kao snop svjetskih linija umjesto kao jednu klasičnu točku ili standardnu kvantnu valnu funkciju. U primjeru neutron ima de Broglieovu

valnu duljinu od 2 nm i brzinu od 2.000 m/s. Simulirana širina proreza iznosi 10 nm, a razmak između proreza 25 nm; vrijednosti su odabrane manjima nego u tipičnim pokusima s neutronsom interferencijom kako bi uzorak bio vizualno jasniji.

Snop svjetskih linija razvija se prema entropijskom pravilu. Gustoća krajnjih točaka svjetskih linija stvara raspodjelu nalik interferenciji, dok jedna odabrana „svjetska linija koja nosi količinu gibanja” nosi energiju i količinu gibanja te određuje stvarni događaj detekcije. Tako rad razdvaja valno ponašanje od čestičnog ishoda bez pozivanja na intrinzičnu kvantnu superpoziciju.

Rad zatim pita što bi gravitacija otkrila. U svakom simuliranom neutronu mnoge svjetske linije pridonose gustoći nalik interferenciji, ali samo odabrana svjetska linija koja nosi količinu gibanja nosi energiju i količinu gibanja te je izvor gravitacije. Model postavlja jednu idealiziranu gravitacijsku sondu na sredinu između proreza i još dvije simetrično lijevo i desno. Ako svjetska linija koja nosi količinu gibanja prođe kroz desni, a ne lijevi prorez, sićušan gravitacijski odgovor pomiče se s njom. Očitavanje te asimetrije otkrilo bi odabrani prorez, dok bi puni snop svjetskih linija i dalje gradio interferencijski uzorak na zaslonu. Procijenjeni signal ubrzanja iznosi približno $2 \times 10^{-23} \text{ m s}^{-2}$, a rad izričito ostavlja praktična ograničenja mjerenja po strani.

Taj je broj važan jer jasno ograničava doseg tvrdnje. Prijedlog nije da je netko već izmjerio gravitacijsku informaciju o tome kojim je putem čestica prošla, a da pritom nije poremetio interferenciju. Tvrdnja je da bi u ovom modelu takva informacija načelno trebala biti dostupna zato što je gravitacijsko polje vezano uz jednu određenu svjetsku liniju, a ne uz superpoziciju obiju putanja.

To se izravno razilazi sa standardnim kvantnim očekivanjem da informacija o putu uništava interferenciju. Time okvir dobiva i konkretnu mogućnost empirijske provjere.

Što ovo ne dokazuje

- **Ne** dokazuje da je kvantna gravitacija riješena.
- **Ne** dokazuje da je gravitacija u prirodi klasična.
- **Ne** pobija Bellov teorem; mijenja postavke prostornovremenske kauzalnosti i u modelu ublažava statističku neovisnost.
- **Ne** reproducira cijelu kvantnu mehaniku. Rad modelira odabrane pojave, a puni kvantni formalizam ostavlja za budući rad.
- **Ne** pokazuje da je opća relativnost potpuno dobivena u režimima jakog polja.
- **Ne** čini valne funkcije, Hilbertove prostore, kompleksne brojeve ili kvantnu teoriju polja nepotrebnima.
- **Ne** daje eksperimentalnu potvrdu. Rad je teorijski i temeljen na simulacijama.

Jasna je granica ova: rad predlaže višedimenzionalni klasični okvir koji može oponašati nekoliko zahtjevnih ponašanja. Nije pokazao da priroda taj okvir doista koristi.

Što bi ga učinilo provjerljivim?

Najvrjedniji dio rada jest to što ne ostaje isključivo filozofski. Pokazuje mjesta na kojima bi se okvir mogao razlikovati od standardne kvantne teorije.

Jedno se predviđanje odnosi na pokuse tipa EPR. Ako prijenos informacija duž svjetskih linija posredovan parametrom τ nije efektivno trenutačan u odnosu na proces kristalizacije, tada bi dovoljno udaljene ili dovoljno brze mjerne postavke mogle odstupati od uobičajenih kvantnih korelacija.

Drugo se predviđanje odnosi na pokuse s dvostrukim prorezom i masivnim česticama. Model kaže da bi se gravitacijska informacija o putu načelno mogla izvući bez uklanjanja interferencijskog uzorka. To je oštar kontrast standardnom kvantnom zaključivanju, iako je predloženi signal iznimno malen i praktična izvedivost nije utvrđena.

Treće se predviđanje odnosi na prijedloge za ispitivanje može li gravitacija posredovati spregnutost između masa. Mnogi današnji prijedlozi za testiranje kvantne gravitacije gravitacijski posredovanu spregnutost uzimaju kao dokaz da gravitacija mora imati kvantna obilježja. U Strubbeovu okviru gravitacijsko je polje pridruženo jednoj određenoj svjetskoj liniji, pa gravitacijski izazvana spregnutost te vrste ne bi trebala nastati.

To nisu sitne razlike. Upravo su takve razlike potrebne spekulativnom okviru želi li biti više od interpretacije.

Koliko su dokazi snažni?

Dokazi su najsnažniji kao demonstracija unutarnje konzistentnosti.

Rad izlaže jednadžbe, simulacije i modelske primjere koji pokazuju kako njegov aparat $4D + \tau$ može u ravnoteži dobiti Newtonovu gravitaciju, približiti se strukturi opće relativnosti, reproducirati model EPR korelacija i proizvesti interferencijski uzorak nalik dvostrukom prorezu za masivnu česticu.

No dokazi još nisu snažni kao dokazi o stvarnom svijetu.

Demonstracije su selektivne. Okvir nije proširen u potpuni kvantni formalizam. Slučajevi jake gravitacije nisu riješeni. Predložena eksperimentalna odstupanja nisu opažena. Izjava o dostupnosti podataka navodi da su skupovi podataka proizvedeni i analizirani u studiji dostupni od autora za korelacijsku na razuman zahtjev, ali središnja tvrdnja nije novo mjerenje; ona je teorijska konstrukcija.

To samo po sebi nije mana. Novi okviri često počinju kao konstrukcije. No trezveno tumačenje mora jasno razdvojiti konstrukciju, simulaciju, predviđanje i potvrdu.

Zašto je važno

Radovi o temeljima fizike mogu zvučati grandiozno jer im je rječnik grandiozan: kvantna gravitacija, nelokalnost, vrijeme, realizam, determinizam. Opasnost je da naslov postane veći od rezultata.

Ovaj rad vrijedi pročitati jer napada stvarnu napetost. Standardna kvantna teorija i opća relativnost ne uklapaju se uredno jedna s drugom. Korelacije Bellova tipa doista ruše obična lokalna klasična objašnjenja u standardnom prostoru vremenu. Mjerenje i vrijeme ostaju konceptualno teški. Okvir koji kaže „možda je pretpostavka o prostoru vremenu pogrešno mjesto za početak” nije time automatski točan, ali postavlja legitimno pitanje.

Zanimljiv potez nije nostalgija za starom klasičnom fizikom. Zanimljiva je cijena potrebna da klasična slika proradi: obična prostornovremenska kauzalnost više nije cijela kauzalna arena. Okvir dobiva realizam i determinizam dodavanjem tau-dinamike kojoj promatrači nemaju izravan pristup.

Je li ta cijena prihvatljiva pitanje je fizike, a ne slogana. Vlastita predviđanja rada mjesto su na kojem to pitanje treba ispitati.

Ukratko

Filip Strubbe predlaže petodimenzionalni klasični okvir u kojem se uobičajeno četverodimenzionalno prostorvrijeme razvija prema dodatnom parametru, tau. U ravnoteži okvir u granici slabe gravitacije dobiva Newtonovu gravitaciju i nastoji izvan nje reproducirati osnovnu strukturu opće relativnosti. Modelira i dva kvantna fenomena: korelacije tipa EPR putem utjecaja koji se u tau šire duž svjetskih linija te interferenciju na dvostrukom prorezu putem snopa svjetskih linija čija se gustoća ponaša valno, dok jedna svjetska linija koja nosi količinu gibanja određuje ishod. Prijedlog je teorijski i temeljen na simulacijama. Njegova važnost nije u tome što rješava kvantnu gravitaciju, nego u tome što daje konkretnu klasičnu alternativu s mogućim eksperimentalnim razlikama, uključujući gravitacijsku informaciju o putu i negativno predviđanje za neke testove spregnutosti posredovane gravitacijom.

Provjera bez uljepšavanja

Što rad pokazuje: Predloženi klasični okvir 4D + tau u modelima može reproducirati odabrana gravitacijska i kvantno-slična ponašanja: Newtonovu gravitaciju u ravnoteži, osnovnu strukturu opće relativnosti, korelacije tipa EPR i interferenciju nalik dvostrukom prorezu.

Što je moguće, ali nije dokazano: Da bi ovaj okvir mogao postati stvaran alternativni put prema kvantnoj gravitaciji. Rad daje put i predviđanja; ne utvrđuje da priroda tim putem ide.

Što rad ne pokazuje: Ne rješava kvantnu gravitaciju, ne pobija kvantnu mehaniku ni Bellov teorem i eksperimentalno ne dokazuje da je gravitacija klasična. Također ne daje potpunu zamjenu za cijeli

kvantni formalizam.

Glavno ograničenje za općeg čitatelja: Ključni potez rada jest dodavanje tau-dinamike izvan uobičajenog prostorvremena. To bi moglo biti fizički plodno, ali upravo ta pretpostavka obavlja velik dio posla. Nemojte brkati „klasično unutar šireg okvira” s tvrdnjom „obična klasična fizika cijelo je vrijeme bila u pravu”.

Koliko povjerenja treba imati opći čitatelj? Umjereno povjerenje da rad predstavlja ozbiljnu i eksplicitnu teorijsku konstrukciju; nisko povjerenje da je to konačan odgovor. Ispravan zaključak nije vjerovanje ni odbacivanje, nego oštrije pitanje: mogu li se njegova predložena odstupanja od standardne kvantne teorije učiniti eksperimentalno provjerljivima?

Izvori

Strubbe, A five-dimensional classical framework for gravitational and quantum phenomena, Scientific Reports 16, Article 2965 (2026)
<https://doi.org/10.1038/s41598-025-32860-8>